

Разработанная программа может использоваться как изолированно, так и в составе математического обеспечения АСУ. Это позволяет широко применять ее при проектировании и эксплуатации распределительных электрических сетей.

Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, М.С. Чернецкий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ОПОРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КРИОГЕННОГО КАБЕЛЯ ИЗ УСЛОВИЙ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

В криогенных электрических кабелях фиксацию отдельных элементов (токопроводов, криогенных оболочек и др.) в заданном положении друг относительно друга осуществляют с помощью специальных опорных элементов. Эти элементы должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечивалась надежность работы кабеля из условий прочности и жесткости при минимальных затратах на кабель в целом.

В связи с этим важным обстоятельством является выбор оптимальных расстояний между опорами по длине линии. С одной стороны, большое количество опор удорожает конструкцию кабеля из-за повышенных теплопритоков, с другой — увеличение расстояний между опорами может привести к увеличению деформаций, превышающих допустимые величины. Поэтому основой расчета является выбор максимальных расстояний между опорными устройствами по длине криогенного кабеля из условий прочности и жесткости конструкции.

Будем полагать, что по конструктивным соображениям один конец оболочек кабеля при расположении опорных устройств на одной плоскости жестко закрепляется, а далее во избежание дополнительных напряжений, возникающих от изменения температуры, опорные устройства имеют некоторые свободные перемещения. Такая конструкция представляет собой неразрезной стержень с жестко закрепленным одним концом, уложенный на подвижные в определенной мере опорные устройства.

При этом конструкция криогенного кабеля представляет собой статически неопределенную систему, расчет которой можно производить при помощи метода сил (при расположении

Теперь из условия прочности при плоском изгибе

$$\frac{M_{\max}}{W_z} \leq \sigma_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ — предельное напряжение материала конструкции, принимаемое в зависимости от метода расчета; W_z — момент сопротивления сечения криогенного кабеля.

Известно, что момент сопротивления трубчатого сечения криогенного кабеля равен

$$W_z = \frac{\pi D^3}{32} \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right), \quad (4)$$

где D и d — соответственно наружный и внутренний диаметры трубы-оболочки.

Подставляя значения M_{\max} и W_z из (2) и (4) в уравнение (3), определим расстояние между опорными устройствами по длине криогенного кабеля по формуле

$$l = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{пр}} \pi D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right)}{32 \Phi q}}. \quad (5)$$

Формула (5) позволяет определить расстояние между опорными устройствами криогенного кабеля из условия прочности конструкции. Необходимо отметить, что полученное значение l должно удовлетворять работе конструкции и из условия жесткости. В большинстве случаев это требование соблюдается, однако в наиболее ответственных сооружениях необходимо делать проверку, а иногда и определять l из условия жесткости. Для этого следует иметь реальную конструкцию с определенными опорными устройствами и конфигурацией криогенной линии.

Проверка работы криогенного кабеля из условия жесткости для рассматриваемой конструкции делается исходя из условия

$$f_{\max} = \frac{D}{EI} \leq f_{\text{пред}}, \quad (6)$$

где D — функция, с помощью которой определяются максимальные деформации криогенного кабеля; EI — жесткость

конструкции; $f_{\text{пред}}$ — предельная деформация кабеля.

Для случая, когда опорные устройства криогенной линии расположены на одной плоскости при $l = \text{const}$, функция D записывается в виде

$$D = \Phi_1 q l^4, \quad (7)$$

где Φ_1 — коэффициент, выражение и величина которого зависят в первую очередь от конструкции опорных устройств и конфигурации линии.

Используя выражения (6) и (7), можно получить зависимость для определения расстояния между опорными устройствами в элементах кабеля исходя из условия жесткости

$$l = \sqrt[4]{\frac{f_{\text{пред}} EI}{\Phi_1 q}}.$$

Для определения коэффициентов Φ и Φ_1 криогенная линия рассматривается как неразрезной стержень, расположенный в одной плоскости. Величина этих коэффициентов зависит от конструкции линии, числа пролетов и их соотношения. Так, для трехпролетной линии с постоянным пролетом из выражения (1) имеем, что $\Phi = 0,1$. Величина коэффициента Φ_1 определяется из условия жесткости. С этой целью записываются уравнения для определения максимальных деформаций. Нами получено численное значение Φ_1 для той же трехпролетной криогенной линии: $\Phi_1 = 1,672$.

Предложенные формулы позволяют при заданном прогибе токопроводов и криогенных оболочек кабеля определять наибольшие допустимые расстояния между опорными элементами, устанавливаемыми в коаксиальных фазах между внешним и внутренним цилиндрами, между токопроводами и криогенной оболочкой, между криогенными оболочками, работающими на разных температурных уровнях и др.

Ю.В. Белянчев

О ВЛИЯНИИ ПОРИСТОСТИ ТОКОПРОВОДОВ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРИОГЕННОГО КАБЕЛЯ

Цель настоящей работы — количественная оценка целесообразности применения пористых материалов в конструкциях сверхпроводящих линий. Для этого был разработан алгоритм и